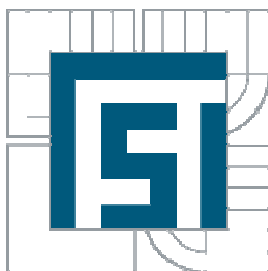




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NOVÉ METODY DOKONČOVÁNÍ ROVINNÝCH PLOCH.

NEW METHODS FOR PLANE SURFACE FINISHING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN ŠUPA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. OSKAR ZEMČÍK, CSC.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Šupa

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nové metody dokončování rovinných ploch

v anglickém jazyce:

New methods for plane surface finishing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Technologie a metody dokončování rovinných ploch.
3. Nové moderní metody dokončování rovinných ploch.
4. Vzájemné porovnání jednotlivých metod.
5. Závěr a doporučení pro strojírenskou praxi.

Cíle bakalářské práce:

Studie k zadanému tématu, moderních metod dokončování povrchu rovinných ploch. Jejich vzájemné porovnání a doporučení pro využití ve strojírenské praxi.

Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK,O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno:Akademické nakladatelství CERM,2002.158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK,O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2003.193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG,W. Fertigungsverfahren band 1,2,3,4,5,6. 4.Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH,1999. 416 s. ISBN 3-18-401054-6
4. Firemní podklady dle dalšího zpřesnění a určení (Sandvik Coromant, Gühring, Fette, Pramet, Mitsubishi, Iscar, Seco, apod.
5. REICHARD,A. Fertigungstechnik 1,2. 10.Aufl. Hamburg: Handwerk und technik,1993.420 s. ISBN 3-582-02311-7

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 25.10.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato odborná rešerše se zabývá moderními technologiemi dokončování rovinných ploch, jejich výhodami a nevýhodami, vlivy na výslednou přesnost a jakost povrchu, jejich vzájemným porovnáním a doporučením pro praxi.

Klíčová slova

dokončování, broušení, lapování, rovinné plochy, leštění

ABSTRACT

This professional research deals with modern technologies used in flat surfaces finalization, their advantages and disadvantages, influences on final accuracy and quality of surface, their mutual comparison and recommendations for practical usage.

Key words

finishing, grinding, lapping, plane surface, polishing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠUPA, J. *Nové metody dokončování rovinných ploch..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011.59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Nové metody dokončování rovinných ploch vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

Jan Šupa

.....
Jméno a příjmení bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, CSc. za pomoc, podporu a cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	9
1 DOKONČOVÁNÍ.....	10
2 BROUŠENÍ.....	11
2.1 Princip a rozdělení broušení.....	11
2.1.1 Rovinné broušení	11
2.1.1.1 Broušení obvodem kotouče.....	12
2.1.1.2 Broušení čelem kotouče.....	13
2.1.1.3 Broušení brousícím pásem.....	14
2.2 Stroje pro broušení.....	14
2.2.1 Rovinné brusky	15
2.2.1.1 Vodorovné rovinné brusky.....	15
2.2.1.2 Svislé rovinné brusky.....	16
2.3 Brousicí nástroje	18
2.3.1 Standardní brousicí kotouče.....	18
2.3.2 Brousicí kotouče ze supertvrdých materiálů.....	20
2.4 Hlavní výpočty u broušení	20
2.5 Zhodnocení a doporučení pro praxi	21
3 LAPOVÁNÍ	22
3.1 Princip a rozdělení lapování.....	22
3.2 Konvenční způsoby.....	23
3.2.1 Mechanické lapování	23
3.2.1.1 Nástroje pro mechanické lapování	24
3.2.1.2 Stroje pro mechanické lapování	27
3.3 Nekonvenční způsoby	28
3.3.1 Chemicko – mechanické lapování	28
3.3.2 Elektro – chemicko – mechanické lapování	29
3.4 Zhodnocení a doporučení.....	29
4 LEŠTĚNÍ.....	30
4.1 Princip a rozdělení	30
4.2 Konvenční způsoby leštění	31
4.2.1 Mechanické leštění.....	31
4.2.2 Leštění rotujícími kefami.....	31
4.2.3 Omílání.....	32
4.2.4 Leštění pásy	33
4.3 Nekonvenční způsoby leštění	33
4.3.1 Leštění laserem	33
4.3.2 Chemické leštění.....	34
4.3.3 Elektro – chemické leštění.....	35

4.3.4	Magnetické leštění	36
4.4	Leštící nástroje	37
4.4.1	Leštící kotouče	37
4.4.2	Leštící kartáče	38
4.4.3	Leštící pásy	38
4.5	Leštící stroje	39
4.6	Shrnutí a doporučení	40
5	JEMNÉ FRÉZOVÁNÍ	41
5.1	Princip jemného frézování	41
5.2	Stroje na jemné frézování	42
5.3	Nástroje pro jemné frézování	43
5.4	Shrnutí a doporučení	44
6	TRYSKÁNÍ (OTRYSKÁVÁNÍ)	45
7	ZAŠKRABÁVÁNÍ	46
8	KULIČKOVÁNÍ..... Chyba! Zálložka není definována.	
8.1	Princip a použití kuličkování	47
8.2	Balotinování	48
8.3	Laser kuličkování	49
8.4	Shrnutí a doporučení	50
9	ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	51
9.1	Princip technologie	51
9.2	Elektroerozivní stroje	52
9.3	Shrnutí a doporučení	53
	ZÁVĚR.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	59

ÚVOD

Aby většina součástí různých strojů a zařízení mohla plnit svou předem danou funkci, je potřeba toto zajistit. Už ve stadiu představy, následně konstrukce a výkresu, musí být funkce této součásti jasná. Je proto nutné součást navrhnout tak, aby svou funkci plnila dobře a spolehlivě podle požadavků konstruktéra. To se týká jak vybrání vhodného materiálu a tvaru součásti, tak i jejích rozměrů. V neposlední řadě je potřeba, s ohledem na přesnost, vybrat vhodnou technologii výroby a úpravu funkčních ploch součásti.

Funkční plochy by měli mít vždy požadovanou přesnost, toleranci a jakost povrchu. Všechny tyto požadavky se dají dosáhnout vhodnou metodou výroby, ale hlavně správným výběrem metody dokončovací.

Metod pro dokončování ploch různých součástí je celá řada. Některé jsou již starší a zavedené, brané v současnosti téměř jako samozřejmost. Jsou zde ale také nové moderní způsoby, které se teprve vyvíjí a nacházejí své uplatnění v průmyslu. Některé dokončovací metody je dokonce nezbytné po výrobě součásti provádět, třeba z hlediska zpevnění povrchu.

Ve své práci se budu zabývat pouze dokončováním ploch rovinných. Ať už metodami běžnými, které jsou už zavedeny a známy, tak i moderními druhy těchto metod nebo druhy zcela novými, vyvíjenými v posledních letech.

Požadavky v současné době jsou nejen na funkčnost, jakost povrchu a geometrickou přesnost, ale mnohdy také na estetický vzhled. Proto moderní způsoby dokončování zajišťují i tento požadavek. Některé z nich jsou dokonce na toto specializovány. Můžeme říct, že metod na dokončování je v současné době celá řada a i nadále se nové vyvíjejí.

Proto jsem se ve své práci rozhodl některé tyto způsoby dokončování přiblížit. Zabývám se zde jejich principy, použitými stroji i nástroji a nakonec také zhodnocením a doporučením těchto metod pro strojírenskou praxi.

1 DOKONČOVÁNÍ

Dokončování je závěrečná operace při obrábění. Provádí se tehdy, kdy jsou určité požadavky na vlastnosti či vzhled obrobené plochy ať už z důvodů mechanických nebo důvodů estetických. Již při obrábění musíme myslet na dodatečné dokončování, a proto se na obrobku nechávají přídávky. Dokončováním se dosáhne zvýšení jakosti povrchu, zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností povrchu (tvrdost, pevnost, mez únavy, odolnost proti korozi, otěru, ...), přesnost rozměrů nebo tvarů, vzhled povrchu (lesk).

Obvyklá dosažená přesnost při dokončování je IT 7 – 8¹ a drsnost povrchu asi Ra 1,6¹.

Existují dvě metody dokončování ploch:

- s úběrem materiálu (odebrání přídávku na dokončení)
- bez úběru materiálu (přetvoření povrchové vrstvy materiálu)

Dále můžeme metody dělit na:

- konvenční způsoby
- nekonvenční způsoby

V Tab. 1.1 jsou uvedeny některé parametry jednotlivých druhů obrábění a dokončování.

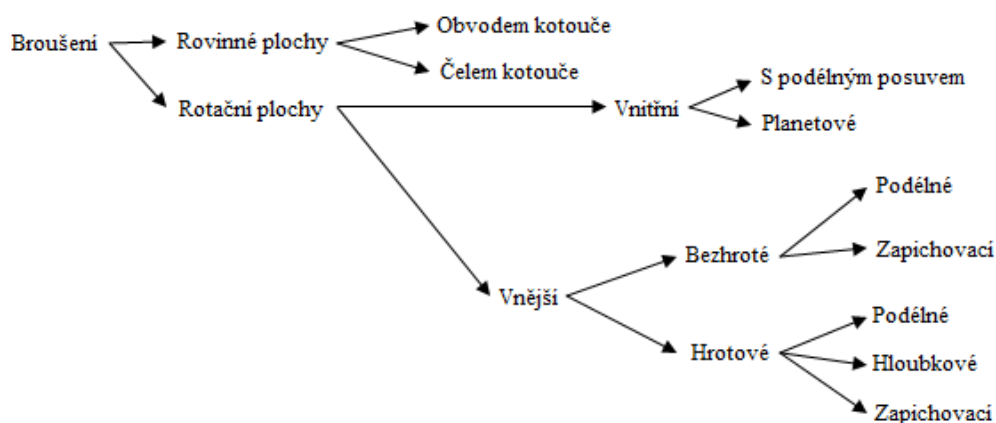
Tab. 1.1 Orientační parametry při různých druzích obrábění a dokončování²

druh obrábění	drsnost povrchu Ra [μm]	stupeň přesnosti IT	rychlost obrábění [m/min]	tlak nástroje [MPa]	teplota povrchu [°C]	přídavek [μm]
frézování	0,4 - 1,6	7 - 8	50 - 700	15 - 300	50 - 300	do 2000
zaškrabávání	0,4 - 1,6	3 - 6	5 - 30	10 - 40	30 - 50	do 300
běžné broušení	0,4 - 1,6	5 - 7	900 - 2400	40 - 400	400 - 1200	do 800
jemné broušení	0,1 - 0,4	3 - 5	900 - 4200	30 - 200	200 - 900	10 - 320
lapování	0,005 - 0,2	1 - 3	5 - 30	0,5 - 1,6	20 - 40	20 - 300
leštění kotouči	0,1 - 0,4	4 - 7	600 - 1800	0,1 - 0,4	30 - 80	20 - 100
leštění pásy	0,1 - 0,4	3 - 6	600 - 2400	do 0,1	30 - 70	10 - 50
chem. leštění	0,1 - 0,4	5 - 8	-	-	20 - 150	20 - 200
elektrochem. lešt.	0,1 - 0,8	6 - 9	-	-	30 - 90	30 - 300
kefování	0,2 - 0,8	6 - 10	600 - 3000	0,3 - 1,2	30 - 60	50 - 150
válečkování	0,1 - 0,4	6 - 7	10 - 30	200 - 1400	30 - 50	5 - 20
kuličkování	0,2 - 0,8	7 - 9	15 - 45	200 - 1200	30 - 50	5 - 30

2 BROUŠENÍ

2.1 Princip a rozdělení broušení

Broušení je dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrny tvrdých materiálů. Jedná se o metodu s úběrem materiálu. Broušením součásti získají požadovanou přesnost a hladký povrch. U otupených řezných nástrojů se broušením obnovuje jejich řezací schopnost. Hlavní pohyb při broušení vykonává nástroj, posuv koná obrobek, přísuv do řezu buď obrobek nebo nástroj.



Obr. 2.1 Rozdělení broušení

Broušením lze:

- dosáhnout vysoké kvality povrchu materiálu
- dobře obrábět těžko obrobitelné a kalené materiály
- odebrat velké množství materiálu za krátkou dobu
- dělit materiály (rozbrušování)

Protože řezné rychlosti u broušení bývají velké, je potřeba dbát bezpečnostních předpisů a také je nutné nosit ochranné pomůcky, aby nedošlo k úrazu.

V mé práci se budu, dle zadání, zabývat pouze broušením rovinných ploch.

2.1.1 Rovinné broušení

Používá se obvykle jako operace na čisto při předchozím frézování nebo hoblování. Často se používá také místo frézování pro obrábění velmi

tvrdých materiálů nebo materiálů s tvrdou kůrou. Rovinné plochy se brousí čelem nebo obvodem brousicího kotouče.

Tab. 2.1 Doporučené pracovní podmínky pro rovinné broušení ¹

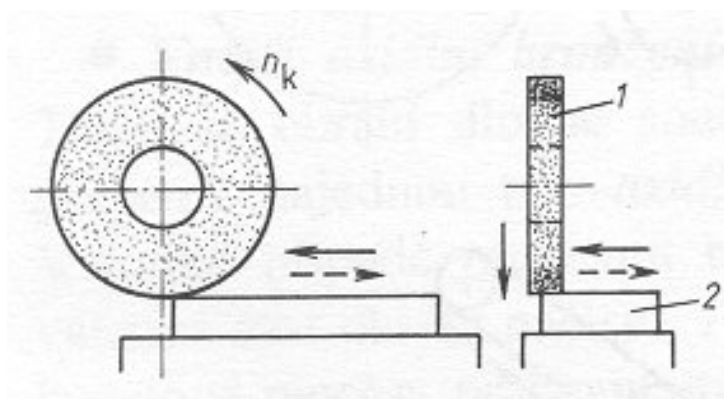
Druh práce			f_r [mm]	f_a [mm]	v_{ft} [m/min]
Obvodové	přímočarý pohyb stolu	hrubování	0,01 - 0,04	$(0,4 - 0,7) \cdot b_s$	8 - 30
		na čisto	0,005 - 0,01	$(0,2 - 0,3) \cdot b_s$	15 - 20
	otáčivý pohyb stolu	hrubování	0,005 - 0,015	$(0,3 - 0,6) \cdot b_s$	20 - 60
		na čisto	0,005 - 0,01	$(0,2 - 0,25) \cdot b_s$	40 - 60
Čelní	přímočarý pohyb stolu	hrubování	0,005 - 0,04	-	4 - 12
		na čisto	0,005 - 0,01	-	2 - 3
	otáčivý pohyb stolu	hrubování	0,005 - 0,03	-	10 - 40
		na čisto	0,005	-	10 - 40

f_r - radiální posuv, f_a - axiální posuv, v_{ft} - tangenciální rychlost posuvu, b_s - šířka brousicího kotouče

2.1.1.1 Broušení obvodem kotouče

Jedná se o nejpřesnější způsob broušení rovinných ploch. Pracuje se s relativně úzkým kotoučem a vliv tepla při broušení na deformace obrobku je velmi malý. Tento způsob se využívá při broušení přesných rovinných ploch, při výrobě nástrojů, měřidel nebo přípravků a popřípadě lze takto brousit i určité tvarové plochy.

Otáčky brousicího kotouče odpovídají řezné rychlosti. Obrobek může vykonávat přímočarý nebo otáčivý pohyb. V běžné praxi je častější přímočarý pohyb obrobku.

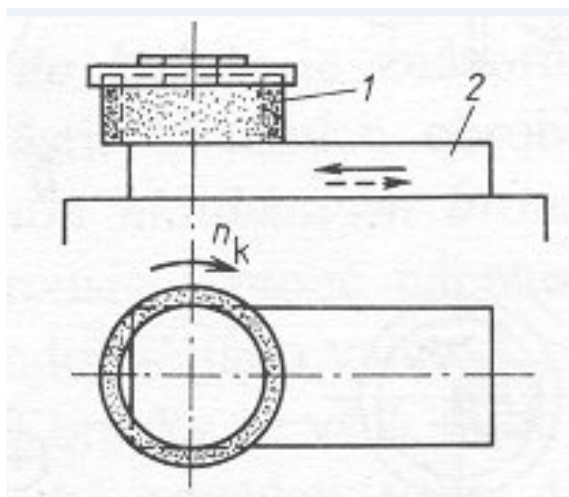


Obr. 2.2 Broušení rovinných ploch obvodem kotouče ¹⁵
1 – brousicí kotouč, 2 – obrobek, n_k – otáčky brusného kotouče

Na bruskách s otáčivým pohybem stolu se obrábějí přesné čelní plochy, např. čela kotoučových fréz a okružních pil. Dají se na nich brousit také plochy mírně kuželovité, např. opět čela kotoučových fréz, jejichž šířka se směrem do středu zmenšuje.

2.1.1.2 Broušení čelem kotouče

Tento způsob není tak přesný jako broušení obvodem, ale je zase naopak o mnoho výkonnější. Protože plocha styku nástroje s obráběným povrchem je větší, povrch obrobku se také více zahřívá. Stejně jako u obvodového broušení může obrobek konat buď otáčivý nebo přímočarý pohyb. Při přímočarém pohybu stolu se brousí zejména menší součásti jako např. čelní plochy ozubených kol, pístní kroužky, čela kroužků kuličkových ložisek.



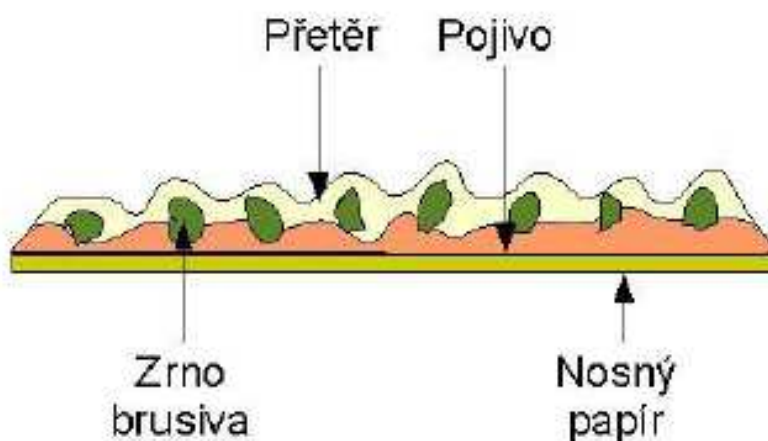
Obr. 2.3 Broušení rovinných ploch čelem kotouče ¹⁵
1 – brousící kotouč, 2 – obrobek, n_k – otáčky brusného kotouče

Pro výkonné čelní broušení se používají speciální brusky s protilehlými vřeteny buď svislými nebo vodorovnými.

Je také dobré na broušení používat segmentové nástroje z důvodů jejich menší plochy, aby se povrch obrobku tak nezahříval. Zlepší se také odvod třísek a přístup chladicí kapaliny. Stejný efekt má u celistvých kotoučů jejich naklonění maximálně o 4° .

2.1.1.3 Broušení brousícím pásem

Jedná se o poměrně novou metodu s vysokou produktivitou práce a velmi dobrou jakostí obrobeného povrchu. Metoda se uplatňuje jak při broušení běžných materiálů tak i materiálů těžkoobrobitelných (např. vysokolegované oceli nebo titanové slitiny). Používají se stejné řezné podmínky jako při broušení kotouči. Jako nosný pás se používá papír nebo textil. Na něj se nalije pojivo a následně se posype brusivem. Brusivo se nanáší v elektrostatickém poli, aby byla zrna orientována delší osou kolmo k pásu, což zvyšuje řezivost. Nakonec se aplikuje přetěr. Pokud se při broušení používá chladicí kapalina, je pojivo i přetěr z umělé pryskyřice.



Obr. 2.4 Detail brusného pásu ⁴

2.2 Stroje pro broušení

Stroje na broušení se nazývají brusky. Je jich celá řada. Dělíme je do různých kategorií, podle toho na co nám slouží.

Brusky dělíme:

- hrotové brusky
- bezhroté brusky
- rovinné brusky
 - vodorovné
 - svislé
- brusky na díry
 - s otáčejícím se obrobkem
 - s planetovým pohybem brusného kotouče
- nástrojové brusky
 - univerzální
 - speciální

Protože se v mé práci zabývám dokončováním rovinných ploch, proto se budu věnovat pouze strojům pro toto obrábění a to jsou rovinné brusky.

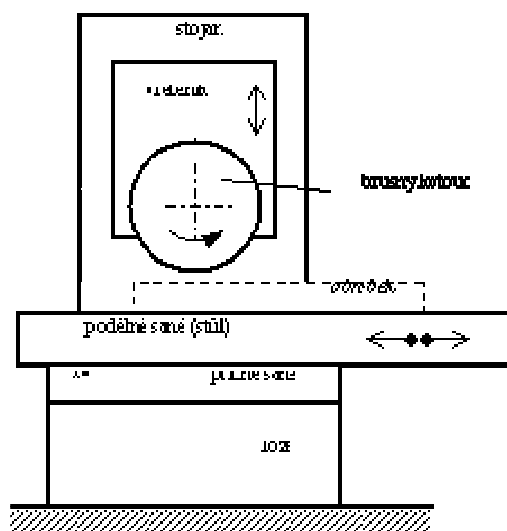
2.2.1 Rovinné brusky

Tyto brusky jsou určeny pro broušení rovinných ploch. Mají obdélníkové (pro větší nebo delší obrobky) nebo kruhové (pro menší obrobky) stoly. Ty jsou většinou poháněny hydraulicky, což umožňuje kontinuálně nastavovat posuv a také velké omezení negativních vibrací. Do rovinných brusek se řadí i brusky na broušení vodicích ploch. Všechny se vyrábí převážně jako dvoustojanové s pohyblivým nebo posuvným ramenem.

2.2.1.1 Vodorovné rovinné brusky

Též nazývané jako horizontální. Jsou charakterizovány vodorovnou osou brousícího vřeten. Obrobky jsou nejčastěji upínány na pracovní stůl pomocí elektromagnetické desky. Pracovní stůl vykonává otáčivý nebo přímočarý vratný pohyb. Nejrozšířenější jsou právě brusky s přímočarým vratným pohybem.

Tyto brusky se používají v malosériové a kusové výrobě, kde se požaduje vyšší přesnost broušených ploch. Vřeteník je svisle přestavitelný. Na stojanu je vedení pro příčný suport, na kterém se v podélném směru pohybuje stůl. Jeho rychlost je plynule měnitelná. Šířka pracovního stolu charakterizuje velikost stroje.



Obr. 2.5 Náčrt vodorovné rovinné brusky ⁷

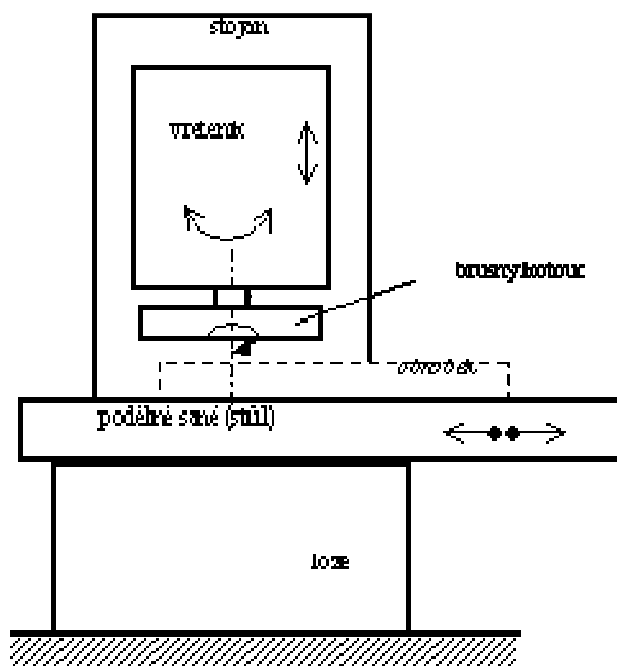


Obr. 2.6 Moderní NC vodorovná rovinná bruska ⁸

2.2.1.2 Svislé rovinné brusky

Mají svislou osu brousícího vřetena. Vyznačují se vysokými výkony broušení. Mají ovšem horší parametry drsnosti a přesnosti obrobeného povrchu než brusky vodorovné. Existují i brusky s otáčivým stolem, ale opět jsou více rozšířené brusky s přímočarým vratným pohybem stolu.

Vřeteník je posuvný po stojanu. Pracovní stůl koná jen přímočarý vratný pohyb, proto musí být šířka brusného kotouče větší než je šířka broušené plochy. Brusné kotouče jsou většinou segmentové z důvodů většího úběru materiálu. Podobně jako u vodorovných brusek se obrobky upínají na elektromagnetickou desku, která je na stole.

Obr. 2.7 Nákres svislé rovinné brusky ⁷Obr. 2.8 Ukázka svislé rovinné brusky se segmentovým kotoučem ⁹

2.3 Broušící nástroje

Jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů (Al_2O_3 , SiC, diamant, KNB – kubický nitrid boru), které jsou pevně svázané pomocí pojiva ve formě kotoučů, tělísek, segmentů nebo zakotvena na broušících páslech nebo papírech. Brusné zrna na nedefinovanou geometrii. Nejvíce jsou pro běžné operace používány brusné kotouče.

2.3.1 Standardní broušící kotouče

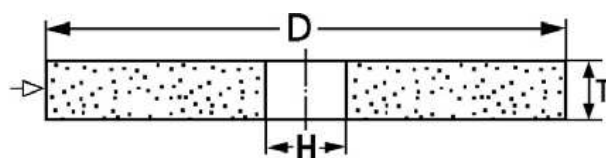
Nejčastěji používanými materiály pro výrobu jsou SiC a Al_2O_3 . Označování a identifikace vlastností těchto kotoučů jsou shodné - typ (tvar, 1), rozměry (2), materiál (3) a velikost broušících zrn (4), tvrdost (5) a sloh (6), pojivo (7), maximální obvodová rychlost (8) podle ČSN ISO 525 (22 4503):¹

Tab. 2.2 Příklad označování broušící kotouče¹

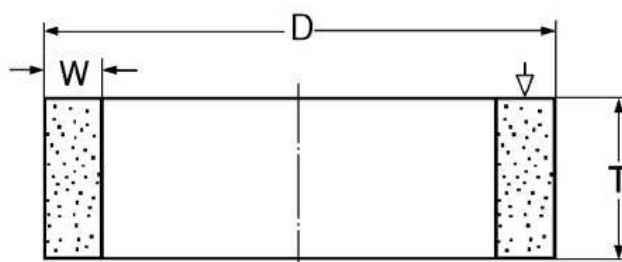
1	2	3	4	5	6	7	8
1	300 x 50 x 76	A	36	L	5	V	35 m/s
Rozměry (2): vnější průměr - 300 mm, šířka - 50 mm, průměr upínací díry - 76 mm							

Některé tvary broušících kotoučů a jejich označování:¹

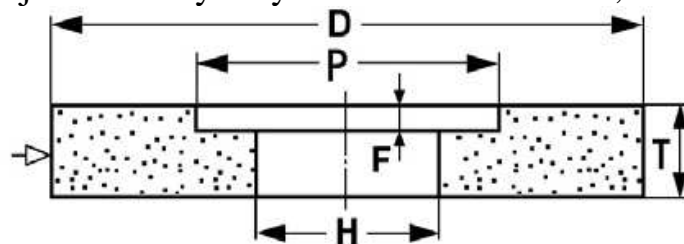
- plochý D x T x H



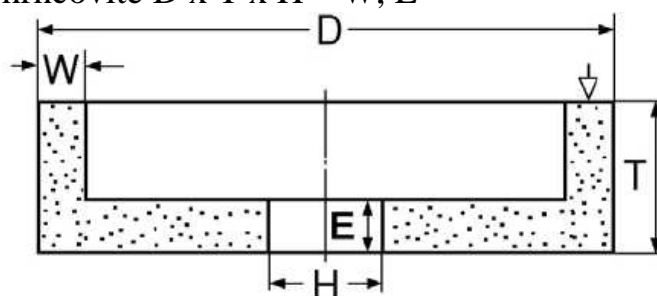
- prstencový D x T x W



- s jednostranným vybráním $D \times T \times H - P, F$



- hrncovitě $D \times T \times H - W, E$



Brousicí kotouče je nutno vyvažovat. Nevyvážené kotouče způsobují kmitání, které má za následek zhoršení jakosti broušené plochy.

Vyvažování je statické, pro rychlosti nad 50 m.s^{-1} a šířky nad 30 mm i dynamické¹.

Z důvodů velkých řezných rychlostí a z toho vycházejících vysokých otáček vřetene může dojít vlivem odstředivých sil k roztržení kotouče. Je proto nutné dbát na bezpečnost obsluhujícího personálu a na nošení ochranných pomůcek.



Obr. 2.9 Souprava brousících kotoučů¹⁰

2.3.2 Broušící kotouče ze supertvrdých materiálů

Základní tělesa těchto kotoučů jsou obvykle z lehkých slitin (hliník). Funkční vrstva z tvrdých materiálů (diamant, KNB) má pouze malou tloušťku. Zrna jsou k sobě vázána kovovým nebo pryskyřičným pojivem.

Označování kotoučů je odlišné u každého výrobce. Pro příklad uvádím označení českého výrobce Urdiamant s.r.o. Šumperk: ¹

Tab. 2.3 Označování brusných kotoučů ze supertvrdých materiálů ¹

1	2	3	4	5	6	7
1 - 150 - 10/2	B - VIII	D 107		K 100	10000/min	

1 – typ (tvar) kotouče, 2 – rozměry kotouče, 3 – pojivo, 4 – druh brusiva, 5 – zrnitost brusiva, 6 – koncentrace brusiva, 7 – maximální otáčky



Obr. 2.10 Sada broušících kotoučů z diamantu a CNB ¹¹

2.4 Hlavní výpočty u broušení

- řezná rychlost ¹

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} [m \cdot s^{-1}] \quad (2.1)$$

- řezná síla ¹

$$F_c = K_c \cdot A_D [N] \quad (2.2)$$

- strojní čas ¹

$$t_{AS} = \frac{l_t}{10^3 \cdot v_{ft}} \cdot \frac{l_a}{f_a} \cdot \frac{p}{a_e} [\text{min}] \quad (2.3)$$

Ke strojnímu času se obvykle ještě připočítává čas na vyjiskření.

2.5 Zhodnocení a doporučení pro praxi

Broušení je jedním z nejrozšířenějších způsobů dokončování různých druhů ploch. Dají se brousit jak rovinné, tak také vnitřní i vnější válcové plochy a plochy tvarové. Broušení je vhodné pro obrábění tvrdých, kalených a těžkoobrobitelných materiálů, kde nelze použít jiné metody. V současnosti se broušení může dále rozvíjet. Napomáhá tomu i rozvoj stále nových NC a CNC strojů, které dokážou brousit stále složitější tvary. Také vývoj nových a moderních druhů materiálů brousících nástrojů jde tomuto procesu vstříc.

3 LAPOVÁNÍ

3.1 Princip a rozdělení lapování

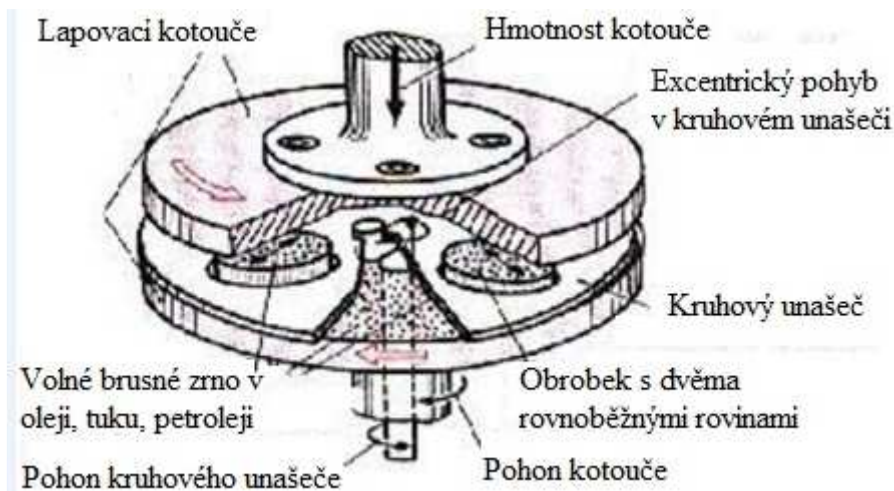
Je to dokončovací metoda obrábění s úběrem materiálu. Dosahuje se nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti obrobené plochy. Používá se pro dokončování vnitřních i vnějších válcových, rovinných i tvarových ploch. Nejčastěji se lapují funkční plochy měřidel, důležitá závitová spojení, části ozubených kol, součásti spalovacích motorů atd. Lze lapovat měkké i tvrdé materiály buď ručně nebo strojně.

Tab. 3.1 Dosahovaná přesnost lapování rovinných ploch ¹

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [μm]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
hrubovací	4	3 - 5	0,2	0,16 - 0,4
jemné	2	1 - 3	0,1	0,08 - 0,16
velmi jemné	-	-	0,03	0,01 - 0,04

Lapování je vlastně zvláštní druh velmi jemného broušení. K ubírání materiálu dochází volným brusivem, které je přiváděno mezi vzájemně se pohybující nástroj a obrobek ve formě jakési pasty.

Z hlediska technologického rozdělujeme lapování na hrubovací, jemné a velmi jemné. Při hrubovacím dochází k odřezávání nerovností a výstupků na povrchu lapované plochy velkým množstvím brusiva. Při velmi jemném lapování dochází k plastické deformaci lapované plochy.



Obr. 3.1 Lapování ⁴

Obrovskou nevýhodou lapování je malá produktivita, velká pracnost a vysoké náklady v porovnání s jinými metodami dokončování. Lapování také trvá velmi dlouho. Proto se, tam kde je to možné, lapování nahrazuje superfinišováním nebo honováním. Nakonec je nutné obrobek očistit nejlépe v petroleji.

Lapování je několik druhů a tyto lze rozdělit do dvou hlavních kategorií:

- lapování konvenčními způsoby
- lapování nekonvenčními způsoby

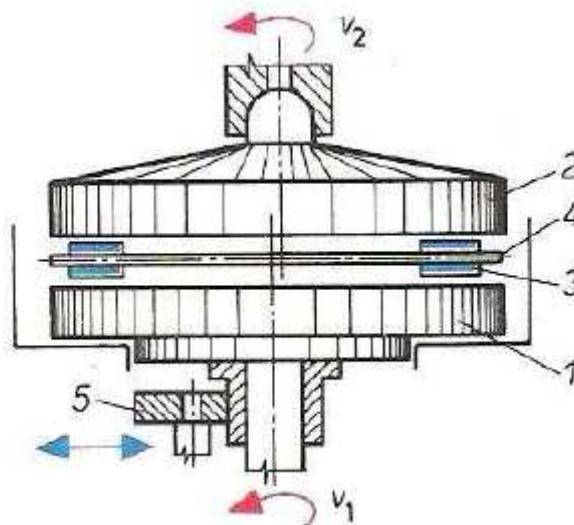
3.2 Konvenční způsoby

Do konvenčních způsobů lapování patří vlastně jen jeden druh a tím je lapování mechanické. Tento způsob je nejrozšířenější a také nejstarší.

3.2.1 Mechanické lapování

K úběru materiálu dochází působením řezných hran zrn lapovacího prostředku. Lapovací prostředky mohou obsahovat zrna běžných brusných materiálů nebo diamantový prášek (výborné řezné vlastnosti).

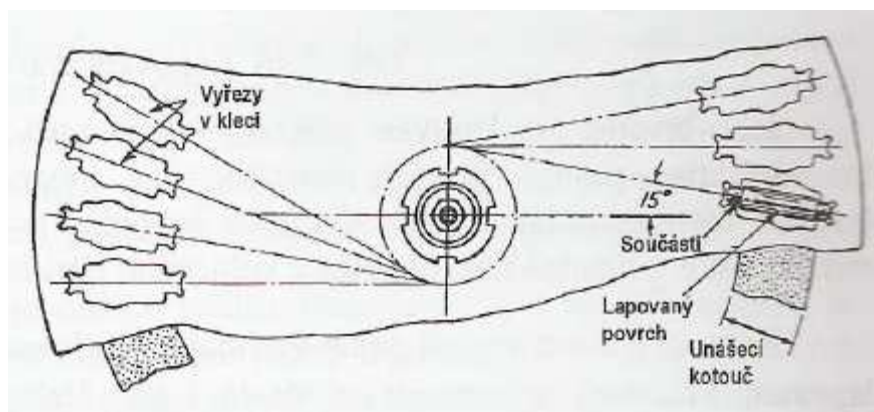
Zvláštní případy mechanického lapování jsou např. lapování ve střídavém magnetickém poli, ultrazvukové lapování, lapování proudem kapaliny nebo lapování ozubených kol. Mechanické lapování rozdělujeme na rovinné lapování, planoparalelní a vnitřních a vnějších válcových ploch.



Obr. 3.2 Princip mechanického lapování⁵

1 – spodní kotouč, 2 – horní kotouč, 3 – obrobek, 4 – kruhový unášec, 5 – pohon

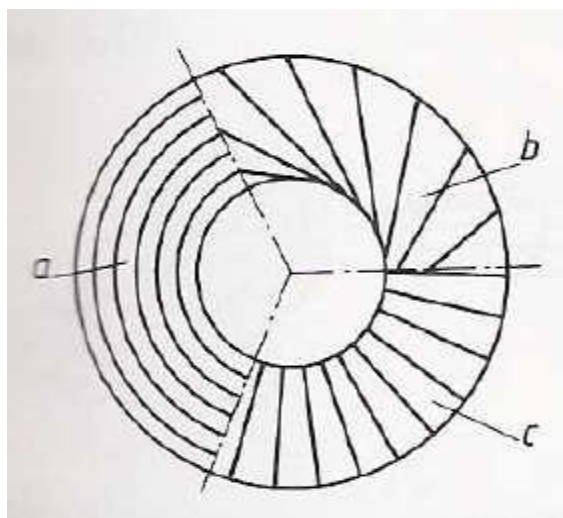
Lapuje několik obrobků najednou. Aby tyto obrobky nevypadly z oblasti mezi kotouči, jsou umístěny v kruhovém unášeci, který má v sobě otvory dle tvaru obrobku. Unášec s obrobky je umístěn mezi lapovací kotouče, kde je excentricky uložen.



Obr. 3.3 Unášec s obrobky⁵

3.2.1.1 Nástroje pro mechanické lapování

Nástroje mají negativní tvar lapovacích ploch. Nosným médiem pro brusivo je buď petrolej nebo pasta. Nástroje se vyrábí z jemnozrnné feritické nebo perlitické litiny, mědi, oceli, olova nebo plastických hmot. Pro velmi jemné lapování se používají nástroje z kalené oceli nebo tvrdě chromované nástroje. Při ručním lapování se používají lapovací desky, trny a prstence.



Obr. 3.4 drážky lapovacího kotouče⁵
a – kruhové, b – šikmé, c – radiální

Tab. 3.2 Brusivo pro lapování ¹

Lapovaný materiál	Brusivo
Oceli	umělý korund - Al_2O_3
Litiny, keramika, sklo	karbid křemíku - SiC
Zvlášť tvrdé materiály (SK, RO)	karbid boru – B_4C , kubický nitrid boru, diamant
Měkké materiály	oxid železitý – Fe_2O_3 oxid chromitý – Cr_2O_3 vídeňské vápno – CaMgCO_3 hydroxid železitý - $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Tab. 3.3 Složení lapovacích past ¹

Druh brusiva		Al_2O_3		SiC	Cr_2O_3		
Zrnitost		1200 - 70	150 - 36	180 - 150	36	100	220
Obsah složek [%]	brusivo	70	50 - 70	60	81	76	74
	kyselina olejová	20	20 - 27				2
	kyselina stearová	8	8 - 17		10		
	tuhá kyselina křemičitá				2		1,8
	zmýdelněný tuk			38	5	10	
	bikarbonát sodný						0,2
	petrolej	2	2 - 6	2			

Obr. 3.5 Diamantové lapovací pasty v dávkovacích nádobkách ¹²

U strojního lapování se používají litinové lapovací kotouče nebo brousící kotouče s brusivem vázaným keramickým pojivem.

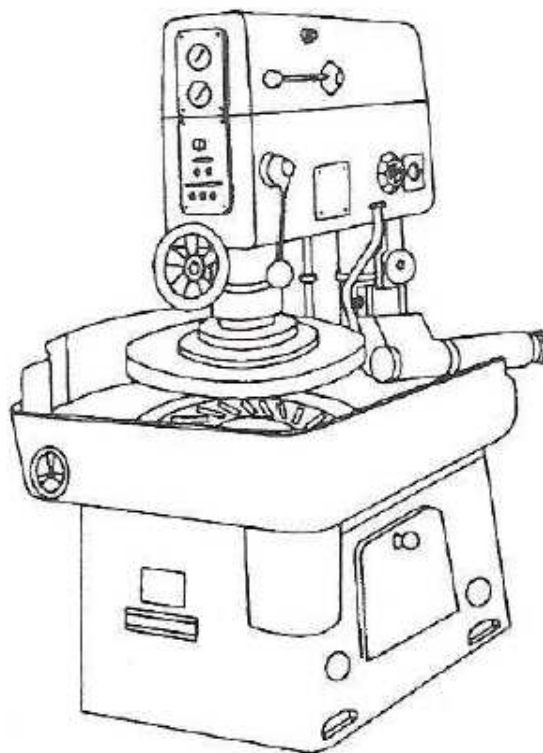
Tab. 3.4 Řezné podmínky pro lapování¹

Typ plochy a lapovaný materiál	Operace	Brusivo		Přídavek	Tlak	Řezná rychlost
		Druh	Zrnitost	[μm]	pk [Mpa]	vc [m/min]
Rovinné plochy, kalené oceli	1	Al2O3	25	30 - 60	0,13 - 0,15	30 - 60
	2		8	10 - 15	0,12 - 0,15	15 - 30
	3		4	5 - 7	0,1 - 0,12	10 - 15
			3	1 - 3	0,08 - 0,1	7 - 10
Vnější válcové plochy, bronz	1	Cr2O3	40	20 - 30	0,02 - 0,03	20 - 30
	2		8	10 - 15	0,01 - 0,015	10 - 15
	3		4	3 - 5	0,01 - 0,015	
1 - hrubovací lapování, 2 - jemné lapování, 3 - velmi jemné lapování						

Obr. 3.6 Lapovací kotouče¹³Obr. 3.7 Lapovací textilie¹³

3.2.1.2 Stroje pro mechanické lapování

Stroje na lapování jsou buď univerzální nebo speciální. Na univerzálních strojích se dají lapovat jak rovinné tak také válcové plochy. Speciální stroje jsou pouze na určité druhy ploch jako např. boky zubů, čepy klikových hřídelí apod. Pro lapování rovinných ploch se používají dvoukotoučové stroje se svislými osami lapovacích kotoučů. Otáčky obou kotoučů jsou různé. Hnací kotouč je výkyvný z důvodů ustavení rovnoběžnosti s kotoučem spodním. Mezi kotouči jsou vloženy unášecí desky. Unášecí desky jsou poháněny kvůli pohybu součástí po celém povrchu desky tak, aby docházelo k rovnoměrnému opotřebení jejich plochy.



Obr. 3.8 Nákres staršího lapovacího stroje ⁵

Výrobci se snaží lapovací stroje vyrábět většinou také jako stroje leštící (viz Obr. 3.9), což menším podnikům ušetří finance, protože nemusí kupovat dva stroje.



Obr. 3.9 Moderní lapovací a leštící stroj ¹⁴

3.3 *Nekonvenční způsoby*

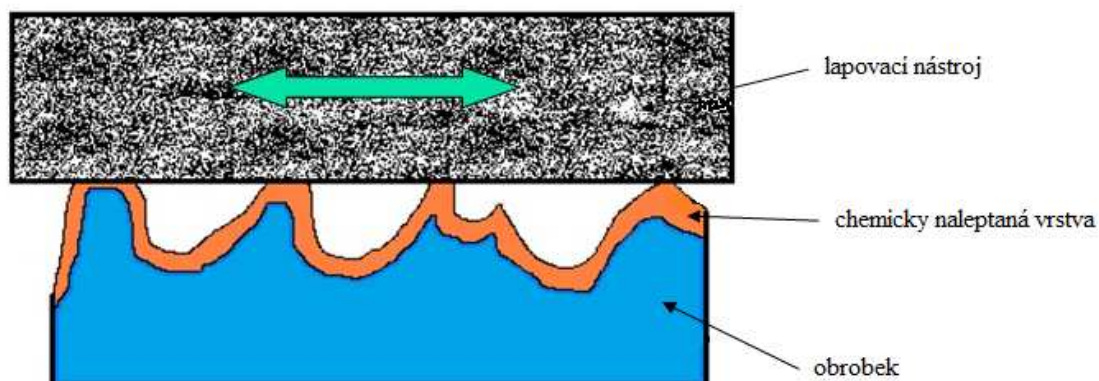
Nekonvenční způsoby lapování jsou chemicko – mechanické lapování a elektro – chemicko – mechanické lapování. Jedná se o poměrně moderní způsoby dokončování ploch v moderním průmyslu a technologii.

3.3.1 Chemicko – mechanické lapování

Jedná se o moderní způsob lapování. Základem je působení aktivních látek lapovacího prostředku. Na povrchu součásti vzniká tenká méně odolná vrstva materiálu a působením lapovacího nástroje dojde k jejímu odstranění. Tento proces se několikrát opakuje, až se dosáhne požadované přesnosti a jakosti obráběné plochy.

Tyto aktivní látky v lapovacích prostředcích obvykle bývají oxid chromitý, oxid železitý, silikagel, vídeňské vápno a molekuly kyseliny stearanové a olejové. Nástroje samozřejmě musí být proti těmto látkám odolné.

Tímto způsobem se nejčastěji dokončují součásti z ocelových, měděných a hliníkových slitin. Dosahuje se vysokých stupňů přesnosti.



Obr. 3.10 Princip chemicko- mechanického lapování

3.3.2 Elektro – chemicko – mechanické lapování

Také moderní způsob dokončování. Funguje na principu elektrolytického obrábění. Jedná se o rozpouštění povrchu obráběné součásti působením elektrického proudu, chemických látek a následného mechanického odstranění této narušené vrstvy. Proces se vyznačuje vysokou jakostí povrchu a krátkým časem jeho dosažení.

Nástroje jsou obvykle z nevodivých materiálů. Nástroj odebírá anodickou vrstvu, po jejím odstranění probíhá další anodický rozklad a další odstranění. Toto se opakuje několikrát po sobě, než se dosáhne požadované jakosti povrchu součásti.

3.4 Zhodnocení a doporučení

Lapování je dokončovací metoda, při které je povrch obrobku obrušován jemným brusivem. To je naneseno mezi lapovací nástroj a obrobek ve formě pasty nebo lapovací kapaliny. Dosahuje se přesnosti povrchu IT 1 až IT 3², drsnosti Ra 0,02 až 0,05 μm^2 . U této metody nedochází ke zlepšení geometrických parametrů povrchu, ale pouze ke zlepšení vzhledu a jakosti povrchu. Nevýhodou jsou dost velké časy na provedení. V praxi je vhodná například pro lapování ozubených kol nebo ventilů spalovacích motorů.

4 LEŠTĚNÍ

4.1 *Princip a rozdělení*

Jedná se o metodu s malým úběrem materiálu. Cílem leštění je vylepšit vzhled povrchu výrobků. Dochází k odstraňování povrchových nečistot a zvyšování jakosti povrchu. Nedochází ovšem ke zvýšení tvarové a rozměrové přesnosti. Často se používá před chromováním, niklováním či před nátěry. Leštit lze strojně nebo ručně.

Leštění rozdělujeme na hrubování, kdy je brusivo pevně uchyceno na nástroji, a jemné leštění, kdy je brusivo volně v oleji nebo pastě nanese mezi leštící nástroj a obrobek.

Podobně jako u lapování lze leštění rozdělit do dvou hlavních skupin:

- konvenční způsoby
- nekonvenční způsoby

Na leštění rovinných ploch lze použít všechny následující druhy leštění.



Obr. 4.1 Vyleštěný výfukový systém motocyklu ¹⁶

4.2 Konvenční způsoby leštění

4.2.1 Mechanické leštění

Dosahujeme vysoké jakosti povrchu. Vyznačuje se až zrcadlovým leskem. Podstatou je mechanické působení leštícího nástroje na obráběný povrch.

Nejrozšířenější je leštění kotouči, které lze vykonávat ručně nebo strojně buď mechanizovaně nebo až automatizovaně. Spočívá na přitlačování leštěné součásti na povrch rychle se otáčejícího kotouče, na kterém je nanesen leštící materiál. Nastává vyhlazení až na zrcadlový lesk. Používá se také při přípravě metalografických vzorků.



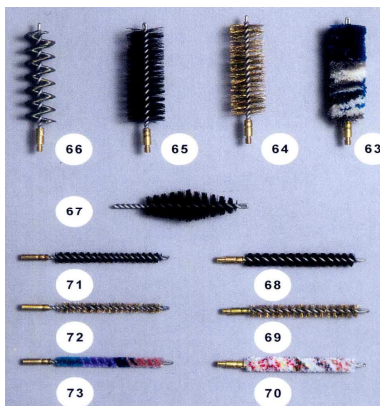
Obr. 4.2 Příklad přístroje na přípravu metalografických vzorků ¹⁷

4.2.2 Leštění rotujícími kefami

Nazývá se také kefování. Má široké využití v praxi. Svou podstatou je nejbližší mechanickému leštění. Tímto způsobem čistíme povrchy součástí od barev, okovů, opálení, odstraňujeme přetoky, zaoblujeme hrany, leštíme povrchy nebo je mechanicky zpevňujeme.

Kefy se podobají leštícím nebo brusným kotoučům. Jsou tvořeny z jemných vláken, které jsou na husto ukotveny v pevném jádru. Vyrábějí se z drátů (ocel, bronz), štetin (kapron, nylon), bavlny, přírodních vlasů, fibru apod. protože jsou měkké, dobře přiléhají k leštěným povrchům.

Kvalita povrchu, produktivita a ekonomická efektivita závisí na pracovních režimech. Optimální pracovní parametry se stanovují nejčastěji po předběžných zkouškách.



Obr. 4.3 Některé druhy leštících kef ²¹

4.2.3 Omílání

Je to proces, při kterém se součásti a leštící materiály dostávají do vzájemného styku a nárazy a třením se vyhlazuje povrch součástí. Můžeme je rozdělit na omílání v rotačních a vibračních bubnech. Tímto způsobem se dokončují povrchy součástí, kde není možné leštit mechanicky anebo je to velmi nákladné. Lze zlepšit kvalitu povrchu o 2 až 3 třídy ². Výsledná drsnost povrchu je běžně $R_a = 0,4 \mu m$ ², při speciálních podmínkách až $R_a = 0,1 \mu m$ ². Avšak tímto způsobem není možné zlepšit přesnost povrchu. Proto se tak dokončují pouze nenáročné součásti nevyžadující geometrickou přesnost, ale jen hladkost.



Obr. 4.4 Stroj na vibrační omílání ²²

4.2.4 Leštění pásy

Leštění pásy je v podstatě mechanické leštění. Pásy jsou pokryty buď brusnými zrny nebo pastou. Leštíme tak součásti se složitými profily z tvrdých ocelí. Oproti leštění kotouči je tento způsob výhodnější a produktivnější. Pásy bývají obvykle vyrobeny z kapronu, gumy nebo tkaniny. Na něj jsou naneseny zrna brusných prášků.

Pás ve tvaru nekonečného prstence je napínán na dva bubny. Jeden je napínací a jeden je hnáný. Leštěné součásti jsou pak přitlačovány k pásu (viz Obr. 4.15)

4.3 Nekonenční způsoby leštění

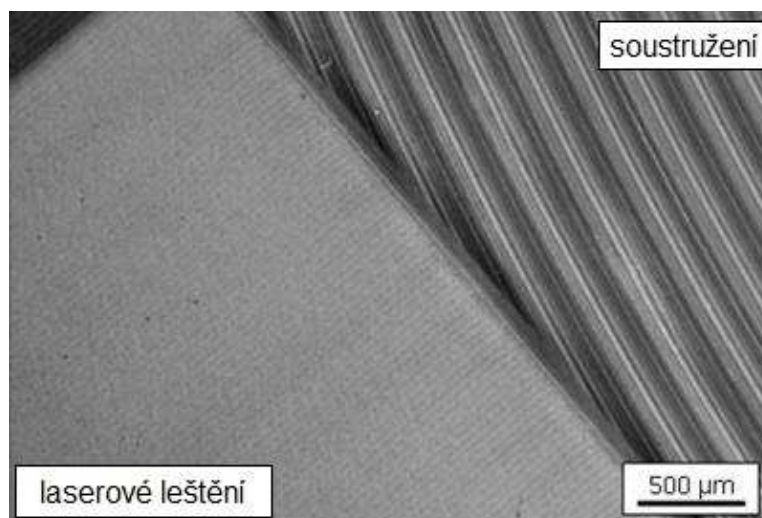
4.3.1 Leštění laserem

Dosavadní metody leštění se opírají většinou o mechanické postupy. Rozvoj laserové techniky přináší nárůst produktivity a kvality leštěných povrchů. Jedná se o velmi moderní metodu.

Používají se pevnolátkové pulzní lasery s mikrosekundovou popř. nanosekundovou délkou trvání paprsku. Technologie spočívá v přetavení tenké povrchové vrstvy ($\leq 100 \mu\text{m}^{20}$) materiálu a jejího následného odpaření s cílem leštění a vyhlazení za působení povrchového pnutí. Používá se na leštění ocelí zvláště pak nástrojových. Dosahuje se drsností povrchu až $R_a = 0,1 \div 0,2 \mu\text{m}^{20}$, bezdefektního povrchu a povrchu bez jakýchkoliv leštících prostředků. Zvyšuje se také produktivita a je možné tuto metodu plně automatizovat.

Leštění laserem ale není jen metoda pro ocelové materiály. Dobrých výsledků bylo dosaženo také u, pomocí pulzního laseru leštěných, titanových implantátů (např. materiál TiAl6V4²⁰). Kromě vynikající jakosti povrchu s drsností kolem $R_a = 0,08 \mu\text{m}^{20}$ bylo také dosaženo výborné povrchové biokompatibility. Také se tímto způsobem leští sklo, nejčastěji díly optických přístrojů. U těchto aplikací je výhodnější použití CO₂ laserů. Musí se ovšem dbát na to, aby nadměrných tepelným působením laseru nedošlo k poškození geometrie povrchu leštěné čočky.

Proto také pro tyto aplikace byla vyvinuta speciální hybridní laserová technologie. Čočky se nejprve předejhřejí pomocí vysokofrekvenčního mikrovlnného zářiče. Předejhřev snižuje, při působení laseru a následném chladnutí povrchu, teplotní gradienty, a zabraňuje tak jak změnám struktury materiálu, tak i narušení geometrie povrchu. Postup probíhá automaticky s řízením přes pyrometr.



Obr. 4.5 Porovnání soustruženého a laserem leštěného povrchu ²⁰

4.3.2 Chemické leštění

Chemické leštění je nová metoda dokončování kovových povrchů. Lesklé a kvalitní plochy dosahujeme v tomto případě působením chemických látek.

Součást ponoříme na určitou dobu do nádrže s chemicky aktivním roztokem. Začnou probíhat chemické reakce a povrchová vrstva kovu se rozpouští a součást získává vysoký lesk.

Při tomto leštění dochází k rozrušování krystalické mřížky. Proces je velmi jednoduchý, což je hlavní výhoda chemického leštění. Protože chemické rozpouštění probíhá na mikrovývážkách vyšší rychlostí než mikroprohlubních, zlepšuje se kvalita povrchu. Tímto způsobem se leští součásti, které by se těžko leštily mechanicky.



Obr. 4.6 Přístroj na chemické leštění ¹⁸



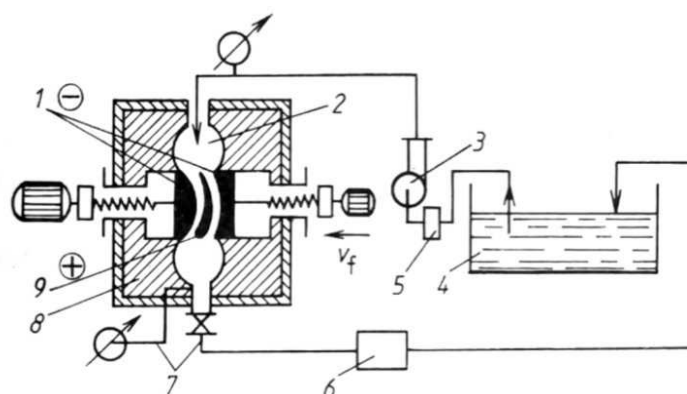
Obr. 4.7 Zařízení pro chemické leštění skla ¹⁹

4.3.3 Elektro – chemické leštění

Vysoká jakost povrchu a vysoký lesk je dosahován elektrochemickým úběrem materiálu.

Součást se ponoří do elektrolytu a průchodem stejnosměrného proudu se rozpouští povrchová vrstva. Na průběh procesu má vliv také mechanické míchání elektrolytu a jeho teplota. Tyto faktory zvyšují rychlost leštění. Rychlost ovlivňuje také proudová hustota a napětí. Po dokončení leštění je třeba součást omýt pod vodou, nejprve v teplé vodě a pak ve studené.

Elektrochemické leštění používáme na leštění řezných nástrojů (např.: vrtáky, frézy, výstružníky, závitníky a jiné vícebřité nástroje) nebo často také pro leštění lopatek turbínových strojů.

Obr. 4.8 Schéma zařízení pro elektrochemické leštění²⁰

1 – nástroj (katoda), 2 – rozvod elektrolytu, 3 – čerpadlo, 4 – rozvod elektrolytu, 5 – chladič, 6 – filtr, 7 – regulátor tlaku, 8 – pracovní komora, 9 – obrobek (anoda)

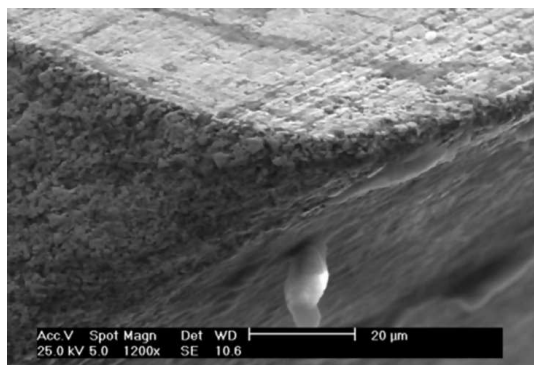
4.3.4 Magnetické leštění

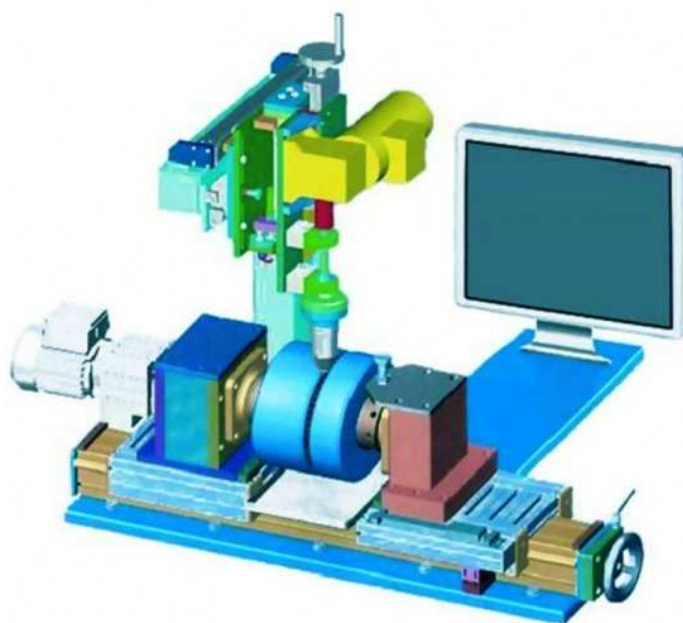
Jedná se o moderní nekonvenční metodu leštění. Je ideální jako předstupeň pro opracování namokro. Nahrazuje běžnou elektrolytickou leštící lázeň.

V pracovní nádobě se ve směsi vody a kompaundu víří droboučké kolíčky. Ty při každém nárazu na povrch obráběné součásti vytvoří lesklý bod. Proces trvá obvykle 15 až 30 minut.

Tato metoda se používá pro odstranění zbytků odlévací hmoty a oxidačních zbarvení u odlitků. Dále k leštění ortopedických implantátů, chirurgických, lékařských a dentálních nástrojů ale také k dokončování břitů řezných nástrojů.

Výsledkem magnetického leštění je hladký povrch, krásná ocelová barva a extrémně vysoký lesk, kterého lze docílit i ve špatně přístupných oblastech obrobku. Výrobky se vyznačují zdravotní nezávadností, odolností a trvanlivostí.

Obr. 4.9 Detail magneticky zaoblené hrany řezného nástroje²⁰



Obr. 4.10 Počítačově řízený přístroj na magnetické leštění²⁰

4.4 Leštící nástroje

Máme několik druhů leštících nástrojů jak pro ruční tak pro strojní leštění.

4.4.1 Leštící kotouče

Kotouče jsou buď lamelové (pásky z brousících pláten, bavln, kůže nebo plstěné) nebo tuhé (guma, dřevo, korek, kov). Obvodová rychlost takových kotoučů se pohybuje mezi 25 až 40 m/s². Mají na sobě nalepené zrna brusiva.

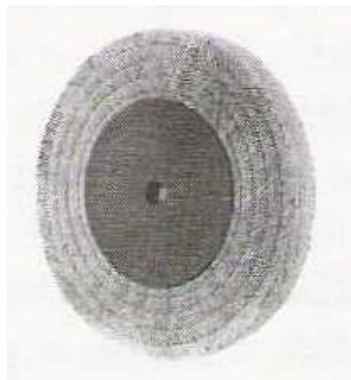


Obr. 4.11 Sada bavlněných leštících kotoučů²⁵

Obr. 4.12 Ukázka leštících kotoučů ²⁶

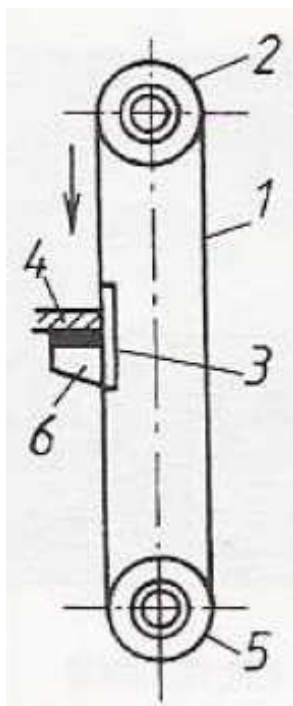
4.4.2 Leštící kartáče

Kartáče jsou tvořeny tvořené vlákny z umělých hmot, žíní nebo ocelových drátů ($\varnothing 0,1-1,2 \text{ mm}^2$). Ty jsou uchyceny na nějakém základním tělese.

Obr. 4.13 a 4.14 Leštící kartáče ⁵

4.4.3 Leštící pásy

Jedná se jakoby o nekonečný pás přitlačovaný k obrobku. Leštění pásy je kvalitnější a výkonnější než leštění kotouči.

Obr. 4.15 Leštění pásem⁵

1 – leštící pás, 2 – hnací buben, 3 – přítlačný mechanismus, 4 – obrobek,
5 – napínací buben, 6 – držák obrobku

4.5 Leštící stroje

Leštící stroje jsou často konstruovány také jako stroje lapovací. Tyto dvě technologie jsou si hodně podobné. Dojde k úspoře nákladů a zvláště menší firmy toto uvítají. Téměř pro každý druh leštění je jiný stroj, ale snaha je, dělat tyto stroje stále více univerzálnější.

Obr. 4.16 Leštící stroj od firmy Knecht²⁷



Obr. 4.17 Moderní CNC stroj pro leštění laserem ²⁰

4.6 Shrnutí a doporučení

Leštění je dokončovací operace, při níž získáváme dokonalý zrcadlový lesk součástí, dochází také k odstraňování povrchových nečistot. Nedochozí ovšem ke zvýšení rozměrové ani tvarové přesnosti. Obvyklá dosažitelná jakost povrchu je $R_a = 0,1$ až $0,8 \mu\text{m}^2$ a přesnost IT 3 až IT 9 ². Tyto parametry se liší u jednotlivých druhů leštění. Laserové leštění je dost energeticky náročné, ale zase ušetří mnoho času. V praxi se obvykle leští hrany tažných a ohýbacích nástrojů, dutiny vstřikovacích, odlévacích a lisovacích forem nebo také jen dekorativní povrchy různých výrobků.

5 JEMNÉ FRÉZOVÁNÍ

5.1 Princip jemného frézování

Frézování je nejpoužívanější způsob třískového obrábění. Získáváme rovinné plochy, drážky, vačky, tvarové součásti, ozubení i závity. Je to jednoduchý proces jak na stroje, tak na obsluhu.

U frézování je obrobek upnutý na stole a koná posuv, nástroj je upnutý ve vřetenu a koná rotační pohyb. Otáčivý pohyb nástroje je pohybem hlavním. Výsledný pohyb je cykloida. Výhoda je, že zub nástroje odebírá třísku jen po malé dráze, pak jede naprázdno, a proto se nástroj dobře chladí. Nevýhodou je nerovnoměrný záběr, což způsobuje nerovnoměrné opotřebení nástroje a sklony ke chvění.

Známe dva druhy frézování, čelní a válcové. Kvalitnější povrch získáme při frézování čelním, kdy zuby nástroje odebírají třísku a zároveň hladí vzniklý povrch.

Kvalita povrchu u jemného frézování závisí na několika parametrech (tuhost stroje, geometrie nástroje, tuhost materiálu, řezný materiál). Jemné frézování se vyznačuje vysokými řeznými rychlostmi a malými posuvy nástroje. Lze dosáhnout jakosti povrchu asi $R_a = 0,4 \div 1,6 \mu m^2$, geometrické přesnosti obvykle $0,01 \div 0,04 mm^2$ a stupně přesnosti IT 7 \div IT 8 ².



Obr. 5.1 Jemné frézování ³⁰

Jemné frézování si vyžaduje rovnoměrný chod stroje i nástroje. Je proto třeba odstranit vliv rázů, způsobených přerušovaným záběrem zubů nástroje. Z tohoto důvodu se na vřeteno stroje umísťuje vhodný setrvačnick.

Tento druh frézování se rozvíjel zároveň s novými materiály řezných nástrojů a také s novými CNC a NC stroji.

5.2 Stroje na jemné frézování

Jemné frézování se může provádět na obyčejných frézkách, které jsou na to uzpůsobeny nebo na speciálních strojích. V dnešní době se nejčastěji používají moderní CNC a NC stroje, u kterých lze nastavit hodně parametrů pro dosažení co možná nejlepší jakosti povrchu obráběné plochy.



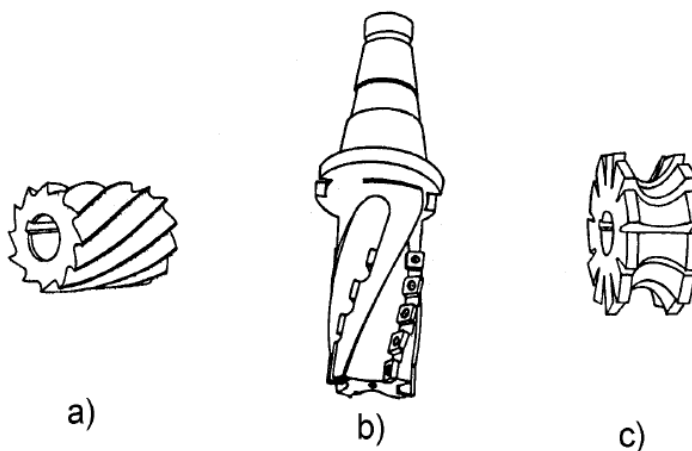
Obr. 5.2 Moderní CNC frézka²⁹



Obr. 5.3 Pohled do pracovního prostoru moderní 5D NC frézky ²⁸

5.3 Nástroje pro jemné frézování

Nástroje pro jemné frézování se nazývají frézy a jsou stejné jako pro frézování normální. Jsou buď válcové, stopkové nebo nástrčné (upínají se na válcovou nebo kuželovou stopku). Moderní frézy pro CNC stroje jsou ale jiné. Mají tělo z pevných ocelí a na něj jsou nějakým způsobem upevněny (příšroubovány, naletovány) řezné destičky nejčastěji ze slinutých karbidů. Tyto moderní nástroje, stejně jako stroje, mají také velký vliv na výslednou jakost obrobenej plochy.



Obr. 5.4 Druhy fréz ⁶

a – válcová, b – čelní válcová, c - tvarová

Obr. 5.5 Souprava moderních fréz²⁰

5.4 Shrnutí a doporučení

Frézování je nejrozšířenější způsob obrábění rovinných ploch. Při upravení parametrů se dá tímto způsobem i dokončovat. Dosahovaná jakost povrchu je $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}^2$ a přesnost IT 7 až IT 8². Metoda je vhodná dokončování rovinných a tvarových ploch a s rozvojem moderních CNC strojů také např. k obrábění ozubených kol (viz Obr. 5.6), které se následně už nemusí dokončovat. Metoda patří také mezi nejlevnější.

Obr. 5.6 frézování kuželového ozubeného kola na 5D CNC frézce²⁰

6 TRYSKÁNÍ (OTRYSKÁVÁNÍ)

Tryskání je dokončovací metoda s úběrem materiálu. Spočívá v dopadání abraziva vysokou rychlostí na povrch obrobku. Abrazivo může být metáno proudem vody nebo vzduchu. Dosahujeme zlepšení vzhledu a jakosti povrchu, avšak přesnosti tvarů a rozměrů se nezlepší.

Čím menší úhel dopadu abraziva na povrch (do 45°), tím je větší úběr materiálu. Dosahuje se zpevnění povrchu (změna struktury povrchu), zvyšuje se mez únavy a trvanlivost součásti.

Abrazivo může být:

- křemičitý písek
- brusivo
- ocelové částice

Křemičitý písek se používá na čištění výkovků nebo odlitků. Ocelové částice mohou být např. kalené ocelové kuličky (broky).

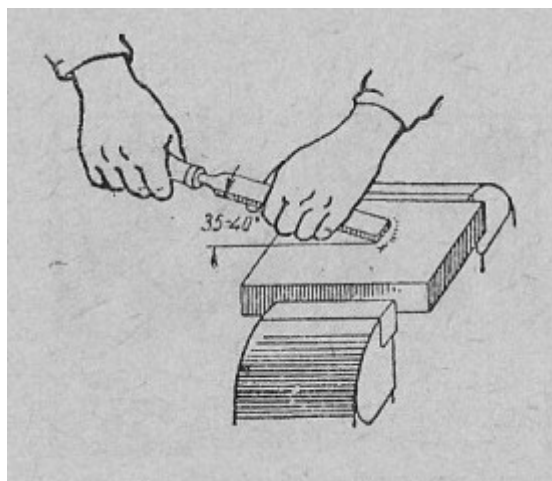


Obr. 6.1 Abrazivo na otryskávání ³⁸

7 ZAŠKRABÁVÁNÍ

Jedná se o dokončovací ruční obrábění, pomocí kterého se postupně odstraňují vyvýšeniny a nerovnosti obráběné plochy. Můžeme dokončovat vodící plochy obráběcích strojů, měřidel a upínacích zařízení. Patří mezi nejpřesnější způsoby, ale je velmi zdlouhavý a drahý. Nahrazuje se proto často broušením a lapováním. používá se převážně na rovinné plochy, protože u rotačních ploch dochází k porušení přesnosti tvaru. Nástrojem jsou ploché, lžícové, zahnuté nebo trojhranné škrabáky.

Nerovnosti zjišťujeme příměrovými deskami a hranoly. Plochy těchto příměr se natírají tenkou vrstvou barviva, pak se přiloží na zaškrabávanou plochu a krouživými pohyby se nabarví. Vyvýšená místa postupně škrabákem odstraníme. Toto se opakuje několikrát dokola, než se dosáhne požadované jakosti povrchu.



Obr. 7.1 Zaškrabávání ³¹

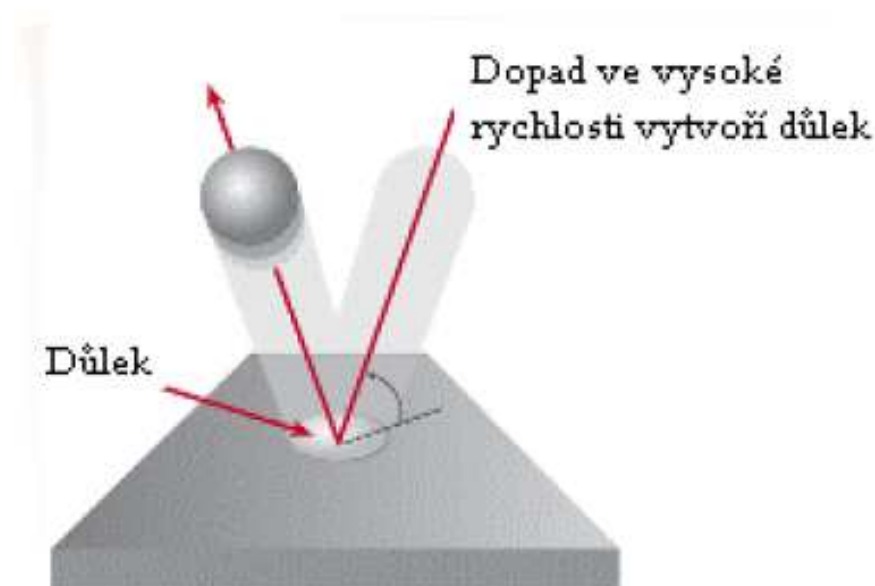


Obr. 7.1 Nástroj pro zaškrabávání ³²

8 KULIČKOVÁNÍ

8.1 Princip a použití kuličkování

Jedná se o mechanickou dokončovací metodu obrábění bez úběru materiálu. Je to vlastně zvláštní druh tváření. Jeho působením vznikají v povrchové vrstvě materiálu tlaková napětí. Princip spočívá v tom, že na povrch dopadají vysokou rychlostí kuličky z různých materiálů a plasticky deformují povrchovou vrstvu materiálu.



Obr. 8.1 Princip kuličkování ³⁶

Hlavní přínosy kuličkování jsou:

- zvýšení únavové odolnosti
- zvýšení odolnosti proti opotřebení
- zvýšení odolnosti vůči korozi

Jako tryskáci médium by měla být použita především ta, která mají dobrou kulovitost. Používají se ocelové granuláty, keramická media a skleněné kuličky (balotínování). Každé tryskáci médium se po nějaké době opotřebuje. Nemusí to být opotřebení pouze časové, ale také může docházet k rozdrčení zrna. Je proto nutné tato média průběžně kontrolovat.

Obr. 8.2 Dopad kuličky na plochu³⁶

V praxi je kuličkování značně rozšířené. Používá se při výrobě různých druhů pružin, u kterých se životnost zvýší až o 1000%, při výrobě hřídelů nebo přistávacích zařízení letadel.

Při oduhličení ocelí o vysoké pevnosti dochází k velkému poklesu únavové životnosti. Při kuličkování těchto oduhličených povrchů se součásti vrátí téměř původní únavové vlastnosti.

Po kuličkování se již nesmí provádět žádné operace, které by vedly k uvolnění napětí vzniklé kuličkováním nebo vyvolávaly škodlivá zbytková napětí. Také není vhodné snižovat obráběním drsnost povrchu pod úroveň následného kuličkování.

Kuličkování je důležitá a nepostradatelná metoda dokončování ve všech průmyslových oborech, zvláště pak v leteckém a kosmickém průmyslu.

8.2 Balotínování

Jako speciální metodu kuličkování lze uvést právě balotínování. tato metoda funguje na stejném principu jako kuličkování.

Jedná se o tryskání povrchu součástí drobnými skleněnými (méně často keramickými) kuličkami. Ty jsou vyráběny obvykle samovolným zakulacením zrnků skla v plameni.

Je to víceméně dekorativní zpracování povrchu součástí. Nejčastěji používané na nerezové a hliníkové materiály. Před balotínováním by se mělo provádět tzv. sjednocení povrchu (např. odstranění povrchových nerovností a odstranění náběhové barvy po svařování).

Jak už bylo uvedeno u kuličkování, balotínováním se zvýší mez únavy materiálu, odolnost vůči korozi a zvýší se odolnost proti opotřebení. Také se zlepší vzhled povrchu.

Obr. 8.3 Výchozí stav povrchu³⁴Obr. 8.4 Povrch po sjednocení³⁴Obr. 8.5 Výsledný efekt po balotínování³⁴

8.3 *Laser kuličkování*

Jedná se o velmi moderní metodu. Svým principem je podobná obyčejnému kuličkování, avšak proud kovových (popř. jiných) kuliček je zde nahrazen působením nanosekundových pulzních laserů. Ty vytváří na povrchu součásti vysokotlakou plazmu. Každý laserový puls vytvoří

intenzivní rázovou vlnu na ploše asi $5 \times 5 \text{ mm}^{18}$, která řídí zbytkové tlakové napětí asi 1 až 2 mm pod povrchem součásti. U konvenčního kuličkování je tato vrstva asi $0,25 \text{ mm}^{18}$ hluboko, takže u laser kuličkování je ovlivněná vrstva asi 4x hlubší¹⁸, což je velká výhoda.

Součásti, jejichž povrch je ošetřen tímto způsobem, mají až 10x vyšší životnost a vyšší únavovou pevnost. Proto mohou být tyto součásti vyrobeny tenčí a lehčí, což umožňuje větší pružnost při návrhu a provozu systémů. Další výhodou je, že nedochází k fyzickému kontaktu povrchu součásti a tak není omezena jakost povrchu ani jeho geometrie.

Technologie laser kuličkování byla ve výzkumu už od roku 1970, ale až nedávno se vývoj nových laserových technologií zasloužil o její nasazení v průmyslu. Předtím nebyly lasery schopny vyvinout vysokou frekvenci pulzů. V současné době je tato metoda rozšířena snad do všech průmyslových odvětví.

Praktické využití se našlo v leteckém a kosmickém průmyslu, dále v energetických zařízeních (reaktory, lopatky turbín) a v medicíně (úprava povrchů implantátů). V budoucnosti se jistě bude využití tohoto systému dále rozšiřovat.

8.4 Shrnutí a doporučení

Kuličkování je tvářecí metoda dokončování. Nedochází k úběru materiálu. Dosahovaná jakost povrchu je $Ra 0,2$ až $0,8 \mu\text{m}^2$ a přesnost asi IT 7 až IT 9².

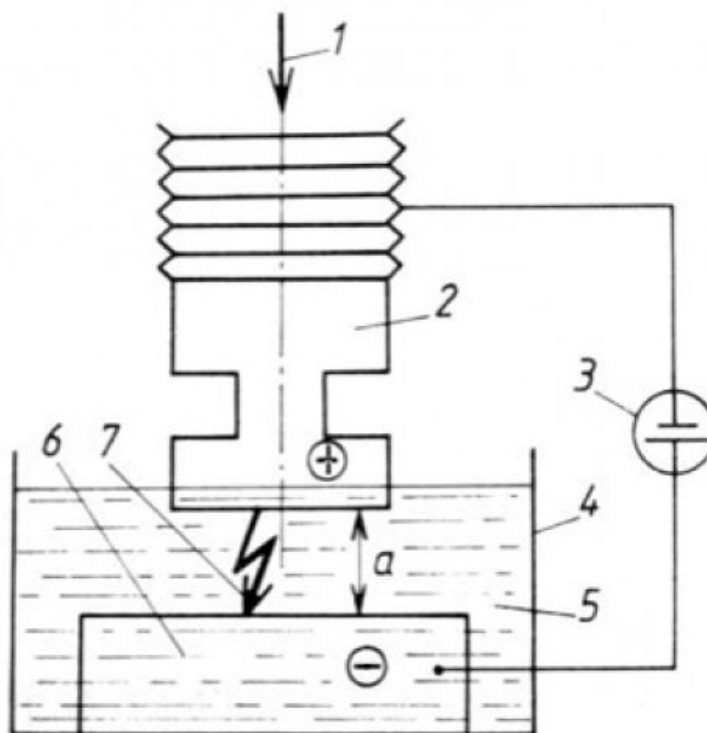
Využití ve strojírenské praxi je široké. Používá se všude tam, kde je potřeba zvýšit únavovou pevnost a odolnost vůči korozi. Nejvíce v leteckém a kosmickém průmyslu, na lopatky turbín, povrchy hřídelů, při výrobě pružin, jaderných reaktorů atd.

9 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ

9.1 Princip technologie

Jedná se o jednu z nekonvenčních metod obrábění. Podmínkou je, aby obrobek byl z vodivého materiálu. Nejčastější použití je při výrobě vstřikovacích forem na plasty, střížných a lisovacích nástrojů a také při obrábění špatně obrobitelných materiálů. U této metody lze dosahovat přesností povrchu v řádech tisícín milimetru a jakosti povrchu $Ra\ 0,05^{15}$ až $0,2^{20}\ \mu\text{m}$, proto lze tuto metodu použít zároveň jako metodu dokončovací a nahradit jí třeba broušení.

Princip lze jednoduše popsat tak, že při přiblížení nástroje (katody) a obrobku (anody) dojde mezi nimi k elektrickému výboji a roztavení povrchových částeczek materiálu obrobku. Následně dojde k jejich odplavení z prostoru obrábění. Z toho vyplývá, že celý pracovní prostor musí být ponořen v tekutém dielektriku. To je potřeba neustále filtrovat od částic vyerodovaného materiálu.



Obr. 9.1 Princip elektroerozivního obrábění²⁰

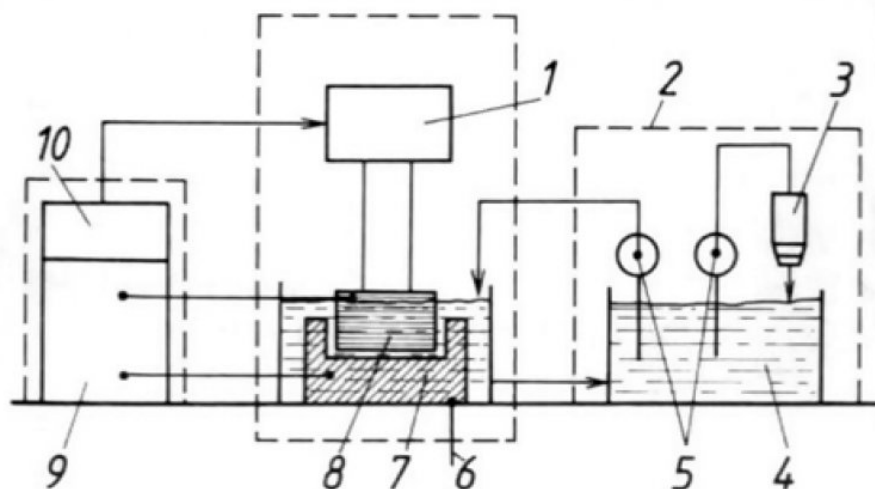
1 – směr posuvu nástrojové elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – pracovní vana, 5 – tekuté dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj

Největší výhodou je možnost obrobit problematické materiály, tvary a také dosáhnout velmi přesných rozměrů.

9.2 Elektroerozivní stroje

Největší využití těchto strojů je v automobilovém a spotřebním průmyslu a v nástrojárnách. Tyto stroje nejsou nijak energeticky náročné. Jejich odběr se pohybuje mezi 10 až 15 kWh²⁰.

Speciální kategorie jsou pak kombinace elektroerozivních strojů s HSC (High Speed Cutting) stroji. Spojením těchto dvou technologií a automatizace dochází k velké úspoře nákladů a až k 50% úspoře času.



Obr. 9.2 Schéma elektroerozivního stroje²⁰

1 – pracovní hlava, 2 – filtrační zařízení, 3 – filtr, 4 – dielektrikum, 5 – čerpadlo,
6 – pracovní stůl, 7 – obrobek, 8 – nástrojová elektroda,
9 – generátor, 10 – CNC řídicí systém

Jelikož pracovní prostor strojů je naplněn dielektrikem, musí být dobře utěsněn, aby nedocházelo k vytékání kapaliny ven.



Obr. 9.3 Pracovní prostor elektroerozivního stroje²⁰

9.3 *Shrnutí a doporučení*

Tato nekonvenční metoda je založena na principu elektrického výboje v určitém místě, odtavení materiálu a následném odplavení jeho částeczek pomocí dielektrika. Je proto využitelná pouze pro materiály elektricky vodivé.

Dosahované přesnosti jsou v řádech tisícín milimetru a jakost povrchu Ra 0,05 až 0,2 μm ^{20,15}. Z tohoto důvodu lze toto obrábění použít i jako metodu dokončovací.

Doporučení pro praxi je v oblasti automobilového průmyslu, při obrábění těžkoobrobitelných materiálů, při výrobě forem a nástrojů a také tvarově složitých výrobků.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla studie k zadanému tématu metod dokončování rovinných ploch, jejich vzájemné porovnání a doporučení pro strojírenskou praxi.

Práce se zabývá jak metodami již nějakou dobu zavedenými, tak i metodami moderními, které jsou poměrně mladší a některé stále ve vývoji. Jako porovnání jednotlivých způsobů dokončování posloužili hlavně parametry, jako je jakost povrchu Ra a stupeň přesnosti IT, ale také výsledný vzhled povrchu po dokončení a popř. energetická, časová a finanční náročnost jednotlivých metod. Přehled metod a jejich porovnání je v tab. 10

Tab. 10 Přehled dokončovacích metod

Metoda dokončování	Dosažitelná přesnost IT	Jakost povrchu Ra [μm]	výhody	nevýhody
Broušení	5 - 7	0,4 - 1,6	univerzálnost, malá náročnost, pro tvrdé materiály	vysoké řezné rychlosti => nebezpečí úrazu, vyvažování kotoučů
Lapování	1 - 3	0,005 - 0,2	vysoká rozměrová přesnost	malá produktivita, velká pracnost, vysoké náklady
Leštění	3 - 9	0,1 - 0,8	estetický vzhled, zrcadlový lesk	malé rozměrové a tvarové přesnosti
Jemné frézování	7 - 8	0,4 - 1,6	univerzálnost, jednoduchý proces	nerovnoměrný chod stroje, nutné vyvažování
Tryskání	do 5	1,6 - 2,2	zpevnění povrchu, zvýšení pevnosti a trvanlivost	nezlepší se přesnosti tvarů a rozměrů
Zaškrabávání	3 - 6	0,4 - 1,6	jedna z nejpresnějších metod	zdlouhavé, drahé, ruční metoda, nelze mechanizovat
Kuličkování	7 - 9	0,2 - 0,8	zvýšení odolnosti vůči korozi a únavové odolnosti	drcení a častá výměna kuličkovacího média
Elektroerozivní obrábění	8 - 9	0,05 - 0,2	pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů	obrobek musí být z vodivého materiálu

Bylo zjištěno, že některé metody jsou téměř univerzální a jejich použití je velmi rozšířené. Některé se nepoužívají jen v průmyslu, ale také třeba v domácích dílnách (broušení, rozbrušování). Mnoho lidí si ani neuvědomuje, že jde vlastně o druhy metod dokončování ploch součástí a berou je jako samozřejmost. Jiné způsoby jsou zase zaměřeny jen na specifické účely.

Na jakost povrchu mají největší vliv parametry předešlé výroby a způsob zvoleného dokončení. Při požadavku na zpřesnění rozměrů je nutné vybrat správnou metodu, protože ne všechny jsou pro toto vhodné. Některé způsoby dokončování jsou použitelné jen pro zlepšení jakosti povrchu a vzhledu (např. leštění), avšak ne na zpřesnění rozměrů.

Je proto nutné, aby technolog, popř. konstruktér, se v oblasti dokončování vyznal a byla na jeho doporučení zvolena metoda, která je nejvhodnější ať už z hlediska požadovaných vlastností funkční plochy (drsnot, přesnost) nebo z hlediska vnějšího estetického vzhledu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, A. Technologie I, Technologie obrábění – 3. část, 2005
2. CINK, L. Vliv technologických podmínek dokončovacích metod na jakost funkčních ploch zrcadel, UTB Zlín, Fakulta technologická, diplomová práce, 2005
https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=1755
3. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby, CERM 2002, ISBN 80 – 214 – 2219 – X
4. SOŠ a SOU automobilní [online].[cit. 2.3.2011]. Strojírenská technologie. Dostupné z WWW: http://skola-auto.cz/html_hlavni_data/maturita_dospelych/strojirenska_tehnologie/st_podklady.pdf
5. SPSS a JZ Kolín. [online].[cit. 2.3.2011]. Dokončovací metody obrábění. Dostupné z WWW: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Dokončovací metody obrábění.pdf
6. Technická univerzita v Liberci. [online].[cit.5.3.2011]. Úvod do strojírenství. Dostupné z WWW: http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/kap4.pdf
7. Webové stránky Mgr. Jana Hamerníka. [online].[cit. 5.3.2011]. Obráběcí stroje. Dostupné z WWW: <http://jhamernik.sweb.cz/OBRSTROJ.htm>
8. Tajmac-zps. [online]. [cit. 10.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.tajmac-zps.cz/c1060cz.html>
9. KS Stroje. [online]. [cit. 10.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.kstroje.cz/cz/257/stroj/bruska-rovinna-svisla/>
10. Brousicí nástroje. [online].[cit. 10.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.brousici-nastroje.cz/>
11. MINNICH Brousicí technika. [online].[cit. 12.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.minnich.cz/inpage/diamantove-brusne-kotouce-na-plocho/>
12. DIA – Praha. [online].[cit.15.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.diapraha.cz/diamantove-lapovaci-pasty?phpMyAdmin=5g8ygI1axBgg1ZnkWv%2Ch9WmZv25>
13. Polytechnika, spol.s r.o. [online]. [cit.16.3.2011]. Dostupné z WWW: http://www.polytechnika.cz/index.php?stranka=lapovani&hlnab=menu_lapovani
14. Wilhelm Tatje KG. [online].[cit.16.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.tatje.com/werkzeugmaschinen/schleifen-entgraten/>
15. Princip broušení. [online].[cit. 10.3.2011]. Dostupné z WWW: <http://jirijosifko.blog.cz/>

16. Leštění kovů.cz [online].[cit.20.3.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.lestenikovu.cz/nase-prace.htm>
17. Ústav materiálových věd a inženýrství VUT v Brně.
[online].[cit.20.3.2011]. Příprava a hodnocení materiálografických vzorků. Dostupné na WWW:
http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/PHMV/le_me.html
18. Anglická wikipedie. [online].[cit.24.3.2011]. Dostupné na WWW:
<http://www.en.wikipedia.org>
19. AVT Technologická zařízení z plastů. [online].[cit.25.3.2011].
Zařízení pro chemické leštění skla LZR 16. Dostupné na WWW:
<http://www.avthk.cz/produkce/ukazka/zarizeni-pro-chemicke-lesteni-skla-1-3.php>
20. Mmspektrum.com [online].[cit.26.3.2011]. Dostupné na WWW:
<http://www.mmspektrum.com>
21. Tempex Piešťany. [online].[cit.26.3.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.tempex.sk/>
22. ČZ a.s. [online].[cit.27.3.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.czas.cz/?PageId=203&SubId=2&Detail=2>
23. Otec Präzisionsfinish GmbH. [online]. Dostupné na WWW:
<http://www.otec.com.es/>
24. Šperky – bijou.cz [online]. Dostupné z WWW: <http://www.sperky-biou.cz/>
25. Top abrasive. [online].[cit.2.4.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.topabrasive.cz/cz/sortiment-14.asp>
26. Leštění.cz [online].[2.4.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.lesteni.cz/>
27. Schaller lebensmitteltechnik. [online].[cit.3.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.schaller.cz/iindex.php?section=page&id=52>
28. Ostroj. [online].[cit.3.4.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.ostroj.cz/cs/c/fotogalerie-hydraulika-cepy-hydomotory-hydraulicke-valce-hridele/fotogalerie-3.htm>
29. Haas Automation, Inc. [online].[cit.5.4.2011]. Dostupné z WWW:
http://www.haascnc.com/lang/control/MAIN_HaasControl.asp?intLanguageCode=1029#%C5%98%C3%ADzen%C3%AD%20fr%C3%A9zky%20Haas%20%28VMC/HMC/5AXIS%29
30. Mmspektrum.com [online].[cit.25.3.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.mmspektrum.com>
31. TumlikovoMetal Cutting Technologies. [online].[cit.8.4.2011].
Dostupné z WWW: <http://www.tumlikovo.cz/zaskrabavani-ploch-teorie/#more-3310>

32. Doležal Pelhřimov s.r.o. [online].[cit.10.4.2011]. Dostupné z WWW:
<http://www.dolezal-pe.cz/nastroje-a-naradi/elektricke-naradi-fein/oscilacni-naradi-multimaster-c50.html>
33. Encyklopedie pojmů. [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.broucek.chytrak.cz>
34. 1. Toušeňská s.r.o. [online].[cit.15.4.2011]. Dostupn= z WWW:
<http://www.1tousenska.cz/sluzby.php?sub=3>
35. Co je co, encyklopedie. [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.cojeco.cz/>
36. Povrcháři.cz [online].[cit.20.4.2011]. Dostupné z WWW:
http://povrchari.cz/kestazeni/200907_povrchari.pdf
37. Česká wikipedie. [online]. Dostupná z WWW:
<http://www.cs.wikipedia.org>
38. Starke Group of Companies. [online]. Dostupné z WWW:
<http://www.starkegroup.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_D	mm^2	Průřez třísky
CNC	-	Computer Numerical Control
F_c	N	Řezná síla
HSC	-	High Speed Cutting – vysokorychlostní obrábění
K_c	MPa	Řezný odpor
KNB (CNB)	-	Kubický nitrid boru
NC	-	Numerical Control – číslicové řízení
R_a	μm	Jakost povrchu
RO	-	Rychlořezná ocel
SK	-	Slinutý karbid
a_e	mm	Šířka pracovního záběru
d_s	mm	Průměr kotouče
f_a	mm	Axiální posuv stolu
l_a	mm	Dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru
l_t	mm	Dráha pohybu stolu brusky v tangenciálním směru
n_s	min^{-1}	Otáčky
p	mm	Přídavek na broušení
p_k	MPa	tlak
v_c	m/s, m/min	Řezná rychlost
v_{ft}	m/min	Tangenciální rychlost posuvu stolu brusky